



Estimation des changements de la ligne de rivage de la zone côtière sablonneuse de Kénitra au Maroc

Mohamed Ahizoun, Eric Maire, Souad Haida, José Darrozes, Jean-Luc Probst

► To cite this version:

Mohamed Ahizoun, Eric Maire, Souad Haida, José Darrozes, Jean-Luc Probst. Estimation des changements de la ligne de rivage de la zone côtière sablonneuse de Kénitra au Maroc. *Afrique Science*, 2009, 5 (2), pp.184-198. halshs-01020714v2

HAL Id: halshs-01020714

<https://shs.hal.science/halshs-01020714v2>

Submitted on 22 Aug 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Estimation des changements de la ligne de rivage de la zone côtière sablonneuse de Kénitra au Maroc

**Mohamed AHIZOUN^{1*}, Eric MAIRE², Souad HAIDA¹,
José DARROZES² et Jean-Luc PROBST³**

¹ Laboratoire géophysique, mécanique des fluides, environnement et ingénierie mathématique - Equipe de recherche géorisque, géoressource et environnement, Université Ibn Tofail, Faculté des sciences Kénitra (FSK), BP 133, Kenitra, Maroc.

² Laboratoire des mécanismes de transfert en géologie (LMTG) - UMR 5563 - Observatoire Midi-Pyrénées 14, rue Edouard Belin 31400 Toulouse, France.

³ Laboratoire d'agronomie, environnement, écotoxicologie (INP-INSAT), Avenue de l'Agrobipole-Auzeville Tolosane, BP 107-F 3 1326 Castanet-Tolosan Cedex, France.

* Correspondance, courriel : m.ahizoun@hotmail.com

Résumé

Les plages du littoral de Kénitra ont connu des modifications au cours de ces quatre dernières décennies. La mise en valeur économique de certaines plages par des aménagements touristiques et l'extraction massive de sables pour les travaux d'aménagements urbains sont à l'origine d'une déstabilisation des échanges transversaux de sédiments. Ils sont accentués par la succession de périodes de sécheresse et par la multiplication de construction de barrages sur le bassin versant du Sebou. Le préambule à une meilleure gestion de ces plages est la compréhension de leur comportement passé vis-à-vis des contraintes naturelles et anthropiques. Cette démarche s'appuie essentiellement sur les missions aériennes de 1963 et de 1993. Le Modèle Numérique de Terrain (MNT), d'une précision de ± 10 cm en altitude issu de ces missions et le suivi du positionnement du trait de côte par un système d'analyse numérique (DSAS), ont permis d'estimer les taux de changement.

Mots-clés : *Littoral, bassin versant de Sebou, Maroc, photographies aériennes, MNT, DSAS.*

Abstract

Assessment of shoreline changes of the sandy coastal zone at Kenitra, Morocco

The littoral of Kénitra has had sudden modifications during the last four decades. The economic valorisation of several beaches by touristic activities and sand extraction due to urban development has caused destabilization of sedimentary exchanges, which are accentuated by a series of dryness periods and the multiplication of dam construction in the Sebou River watershed. The preamble to a better management of these beaches is the understanding of their past behaviour with respect to the natural and entropic constraints. This work, which is based primarily on the aerial photographs of 1963 and 1993, on a Digital Elevation Model (DEM) with a vertical resolution of ± 10 cm and on the Digital Shoreline Analysis System (DSAS), has enabled us to assess the rate of change.

Keywords : *Littoral, Sebou River watershed, Morocco, aerial photographs, DEM, DSAS.*

1. Introduction

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'état des plages du littoral de Kenitra de part et d'autre des jetées situées sur la partie terminale de l'Oued Sebou au cours des quatre dernières décennies. Ce littoral est situé au nord-ouest du Maroc à trente-deux kilomètres de Rabat. Cinq plages sont réparties de part et d'autres de l'embouchure du Sebou, qui est le plus grand fleuve Marocain prenant sa source dans le Moyen Atlas et dont la longueur est d'environ 500 kilomètres. La zone côtière est en relation avec le cours inférieur du Sebou situé entre sa confluence avec l'Ouergha et son embouchure vers l'Océan Atlantique (**Figure 1**).

Depuis 1935, l'environnement Sebou a été modifié dû à la mise en service de 18 barrages avec 8 grands réservoirs et 10 petits barrages construits sur une période de 70 ans (**Tableau 1**). Ces réservoirs est maintenant une source importante d'irrigation et d'eau potable et règle fortement les écoulements supérieurs, moyens et inférieurs du bassin versant. Considérons tous les barrages (**Figure 2**), la décharge de l'eau de l'Oued Sebou et ses affluents a été réduites d'approximativement 70 %. Depuis la construction du barrage Alwahda et la réduction consécutive des ses afflux, l'Oued Sebou est devenue la source la moins considérable d'eau douce pour la zone côtière accompagné par une réduction en sédiment de plus de 95 % [1].

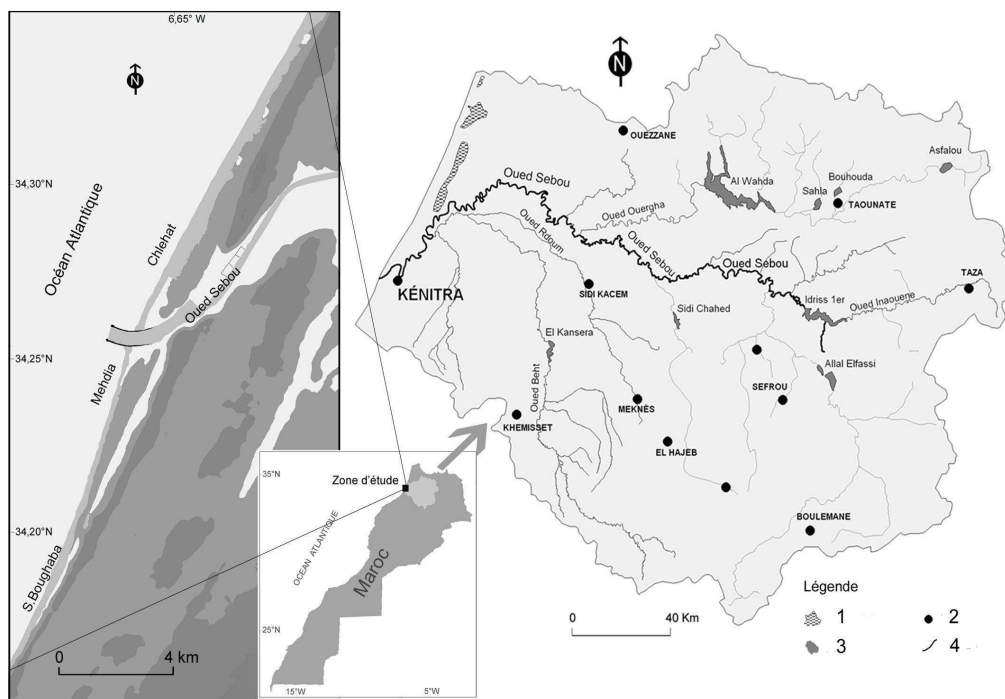


Figure 1 : Localisation du bassin versant de Sebou et le littoral de Kénitra.

1 : Zones humides; 2 : Villes principales ; 3: Barrages; 4 : Oueds.

Selon [1] les impacts profonds et persistants de la variabilité du climat seraient vraisemblablement des changements majeurs dans le cycle hydrologique et la disponibilité de l'eau. Les variations hydro-climatiques pour la période 1940-1994, montre une alternance d'années pluvieuses et sèches de 1940 à 1979 et une plus grande période sèche entre 1980 et 1995. L'effet de la sécheresse pour l'Oued Sebou est très important avec une nette réduction d'eau douce d'environ 98 %.

Notre étude concerne les trois plages de Sidi Boughaba Mehdiya et Chlehat (**Figure 1**). Ces plages d'une longueur totale de 13km, sont localisées entre 34°10' et 34°25' de latitude Nord. Ce sont des milieux naturels sensibles et menacées par les activités humaines dont l'emprise s'est considérablement agrandie au cours des trente dernières années.

Tableau 1 : Données des principaux barrages du bassin versant de Sebou.

Nom des Barrages	Mise en service	Retenue (Mm ³)	Hauteur (m)	Volume régularisé (Mm ³)	Envasement (Mm ³ /an)
Allal El Fassi	1990	69,6	67	570	1,3
Idriss Premier	1973	1182	72	270	2
El Kansera	1935	230	68	200	0,5
Sidi Chahed	1996	170	60	50	N.D
Sahla	1994	62	54	32	N.D
Al Wahda	1996	3714	88	1740	3
Barrage de Garde	1991	37	17,5	0	N.D
Bouhouda	1998	55,5	55	20	N.D
Asfalou	1999	317	112	75	N.D
Bab Louta	1999	35	55	10	0,5

N.D. : Non Disponible

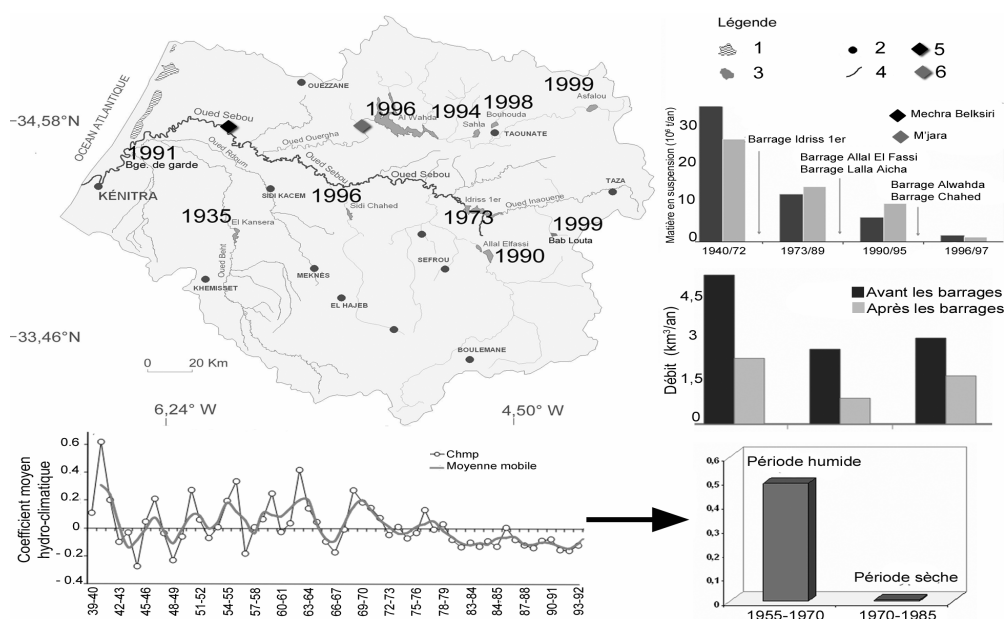


Figure 2 : Influence des barrages et du changement climatique sur la charge solide et liquide dans le bassin versant de Sebou.

1 : Zones humides ; 2 : Villes principales ; 3 : Barrages ; 4 : Oueds ; 5 : Station hydrologique

Sur le plan hydrodynamique, ces plages sont directement sous l'effet de la houle dominante provenant de l'ouest à Mehdiya [2]. Sa classe d'amplitude la plus fréquente est celle de 0,5-1,5 m [3]. Sur le littoral du Gharb, le régime des vents est régi par la présence de l'anticyclone des Açores associé aux dépressions traversant l'Atlantique Nord. Les vents dominants proviennent de l'ouest à 63 % [4]. La dérive littorale est orientée du nord au sud [5].

Dans la perspective d'une connaissance plus globale de l'érosion actuelle, il est nécessaire d'appréhender la dynamique des érosions au cours des trente dernières années et plus précisément avant la mise en place du grand barrage de Al Wahda à la confluence du cours inférieur du Sebou et de son principal affluent l'Ouergha en 1996. Outre ces impacts d'origine anthropique, cette région a également connue des pressions d'origine naturelle comme les variations du climat au cours de ces dernières années. Tous effets aussi bien ceux liés au climat et aux aménagements du bassin versant du Sebou auront probablement un impact non négligeable sur l'évolution morphologique de la zone côtière avoisinante.

2. Etudes antérieures

Des études de l'évolution à court terme du profil des différentes plages de ce littoral ont été réalisées sur une dizaine d'années [6-10]. Elles ont montré les tendances évolutives saisonnières de ces plages.

D'autres données relatives aux caractéristiques sédimentaires signalent la même origine du stock sableux et d'une énergie relativement faible pour les trois plages avec une légère supériorité au sud de l'embouchure [10]. On note aussi qu'au niveau de la plage de Chlehat la prédominance des grains non usés (61 %) et des grains émoussés luisant (33 %) en bas d'estran est respectivement une indication du faible transport et un façonnement par les eaux marines.

Cette même étude apporte l'échange sédimentaire, par activité éolienne, entre le haut et le bas de la plage à partir des grains ronds mats (jusqu'à 21 % pour les plages non aménagées) et sur la réduction de l'approvisionnement des plages en produits détritiques à partir des taux élevés de CaCO_3 (34 à 52 %) qui témoignent de l'origine bioclastique des sédiments.

L'étude, par photo-interprétation, de l'évolution du trait de côte du littoral de Kénitra est indispensable afin de mettre en exergue et quantifier l'instabilité de la ligne de rivage notamment pour la plage de Mehdiya et celle de Sidi Boughaba qui font l'objet de planifications d'aménagements.

3. Matériel et méthodes

La méthode retenue pour le suivi de la dynamique du trait de côte est la photo-interprétation. Les informations essentielles extraites sont les vitesses de déplacement de la ligne de rivage et le volume de sédiments mis en mouvement durant l'évolution des deux secteurs du littoral de part et d'autre du Sebou. Pour ce faire, nous avons superposé des données vectorielles extraites de la photographie aérienne de 1963 et de la restitution aérienne de 1993 au 1/10000^e provenant de la Direction Général de l'Urbanisme et de l'Aménagement du territoire. Son géoréférencement est en projection Lambert Maroc Zone I. Les vitesses de déplacement de la ligne de rivage sont ensuite estimées à l'aide de l'extension Digital Shoreline Analysis System (DSAS) [11] qui fonctionne sous l'environnement logiciel Arc Gis.

Cette extension permet de créer une ligne de base et des transects orthogonaux qui coupent le trait de côtes pour en mesurer parfaitement son déplacement. Les lignes de base on été conçues vers le continent en utilisant la technique de zone tampon pour qu'elle suive l'allure moyenne des traits de côte. Les transects ont été espacés de 100 m et ceux qui présentent des intersections non significatives ont été éliminés. Les taux à court terme de l'évolution du trait de côte sont calculés en utilisant la méthode du point extrême (EPR). Selon [12] trois types d'erreur doivent être pris en considération : les deux premières sont engendrées par le processus de correction de la photographie aérienne alors que la troisième est une erreur de mesure sur la photographie. Notre estimation de l'erreur totale estimée à ± 12 m tient compte des travaux antérieurs similaires [13-17].

L'estimation du volume de sédiments, érodé ou accumulé naturellement est basée sur la réalisation d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) provenant de la restitution aérienne de 1993. Nous avons adopté une interpolation polynomiale du 5^e ordre avec une triangulation irrégulière de Delaunay pour transformer les courbes de niveau en une grille de valeurs altimétriques couvrant toute la zone d'étude. Le MNT ainsi obtenu a une précision en altitude de $\pm 0,1$ m et une précision planimétrique de $\pm 0,5$ m (**Figure 3**). Via les fonctionnalités du système d'information géographique, le volume sédimentaire s'obtient en mettant à jour les tables de données en dualité avec les surfaces accumulées ou érodées. En considérant une pente moyenne de 2° l'erreur des taux d'érosion a été estimée à ± 0.01 m.

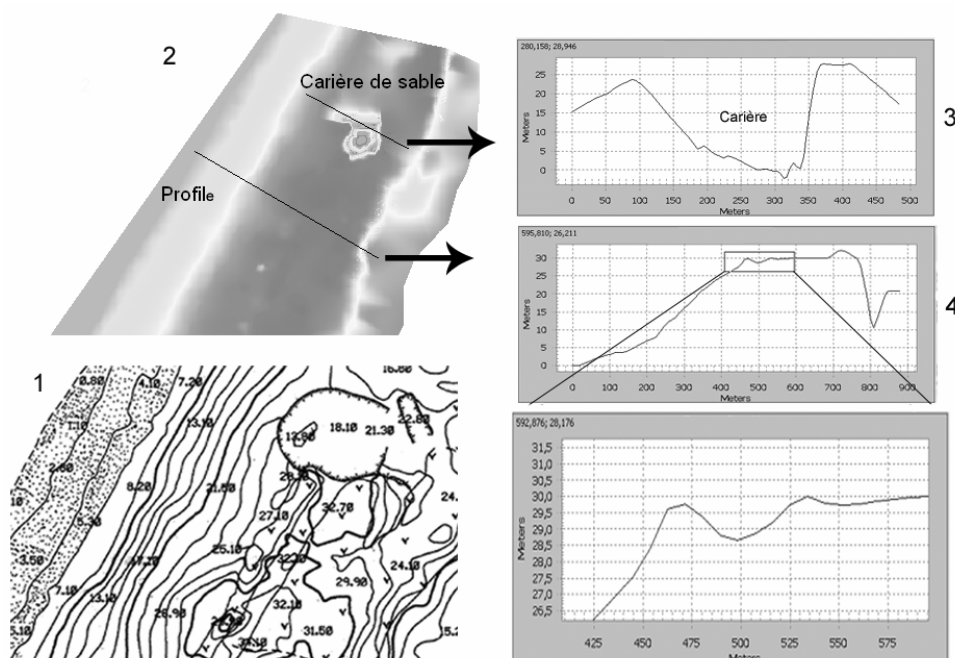


Figure 3 : Résolution décimétrique du Modèle Numérique de Terrain.

1 : Restitution aérienne ; 2 : MNT correspondant ; 3 : Profil d'une carrière de sable ; 4 : Zoom présentant la résolution du MNT au dixième de mètre.

4. Résultats

4-1. Dynamique de l'évolution des plages et volume sédimentaire

Pour le secteur Nord, la superposition de la photographie aérienne de 1963 et de la restitution de 1993 a montré un état d'accrétion général (**Figure 4, 5**). A proximité de l'embouchure, la plage de Chlehat s'est engraisée avec une vitesse moyenne importante de $1,73 \pm 0,4$ m/an. Ces signes d'engraissement diminuent en se dirigeant vers le nord. A 1,5 km environ de la jetée on retrouve un état d'accrétion semblable avec une vitesse de $1,29 \text{ m/an} \pm 0,4$ sur 0,7 km de longueur. Au delà de cette partie la vitesse d'accrétion chute de nouveau et ne dépasse guère $0,49 \pm 0,4$ m/an (**Tableau 2**).

Dans le secteur Sud et jusqu'en 1993, nous observons une instabilité du trait de côte dans ce secteur (**Figure 6,7**). Une action érosive est perceptible dans cette tranche du littoral. A Mehdiat nord, la plage à proximité de l'embouchure a reculé entre 1963 et 1993 avec une vitesse moyenne de $-1,03 \pm 0,4$ m/an, maximal à coté de la jetée

(- 1,46 m/an) et qui diminue en se dirigeant vers Mehdià sud où la plage montre une stabilité. Plus au sud, à la plage de Sidi Boughaba, l'érosion due principalement à l'action de l'océan varie dans des valeurs faibles autour de $- 0,64 \pm 0,4$ m/an (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Vitesses et volumes de l'évolution du littoral de Kénitra.

Plages	Profils	Etat	Vitesse (± 0.4 m/an)			Moyenne d'érosion (± 0.01 m/an)	Volumes théoriques (m ³)	Superficies (m ²)
			Min	max	moy			
Chlehat	1 à 10	accrétion	0,11	0,91	0,49	0,036	46 279,26	42 394,63
Chlehat	11 à 21	accrétion	0,66	1,8	1,29	0,01	4 160,332	13 111,12
Chlehat	22 à 32	accrétion	0,52	1,26	0,77	0,026	4 160,332	36 336,57
Chlehat	33 à 39	accrétion	0,8	2,63	1,73	0,021	17 263,13	26 336,44
Mehdià	40 à 55	érosion	-0,4	-1,46	-1,03	-0,031	- 39 802,48	41 606,80
Mehdià - S. Boughaba	56 à 80	stabilité	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
S. Boughaba	81 à 97	érosion	-0,97	-0,3	-0,64	-0,03	- 29 348,09	32 257,68

N.S : valeur non significative

L'estimation des volumes sédimentaires relatifs à l'évolution tient compte des déplacements de la ligne de rivage lors de l'interpolation des données altimétriques. Les volumes, le taux d'érosion et les profils est-ouest extraite de la superposition des deux MNT des deux dates (**Figure 8**) montrent de manière approchée les scénarios d'accrétion et d'érosion de part et d'autre de l'embouchure. L'estran de Mehdià, qui représente la zone la plus menacée par l'érosion, montre des valeurs de taux d'érosion allant jusqu'à 31 ± 1 cm/an alors que dans le secteur Nord de l'embouchure l'accumulation peut atteindre des valeurs moyennes comprises entre 21 et 36 ± 1 cm/an (**Tableau 2**).

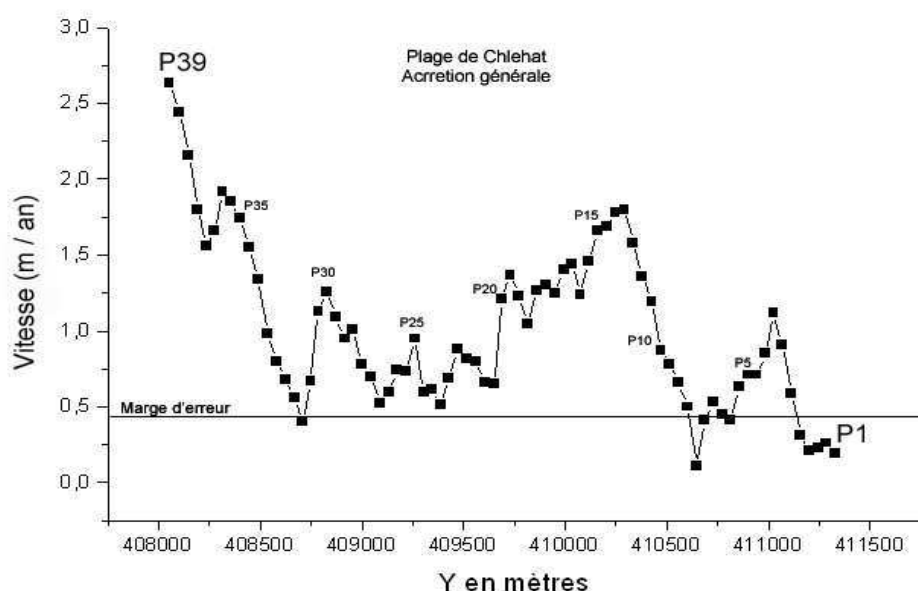


Figure 4 : Variation longitudinale de la vitesse du déplacement de la ligne de rivage dans le secteur nord

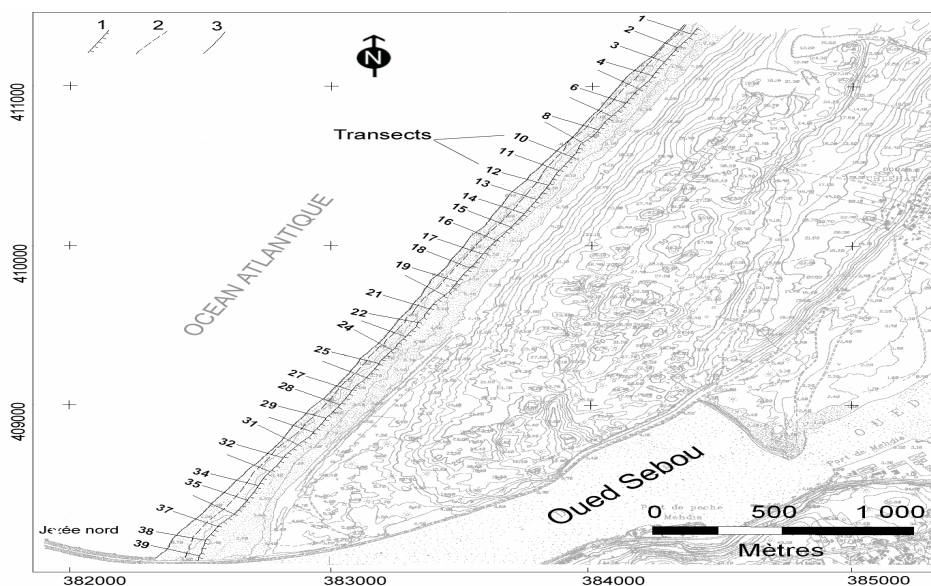


Figure 5 : Evolution du trait de côte du secteur nord entre 1963 et 1993.

1 : Ligne de base ; 2 : Trait de côte de 1963 ; 3 : Trait de côte de 1993.

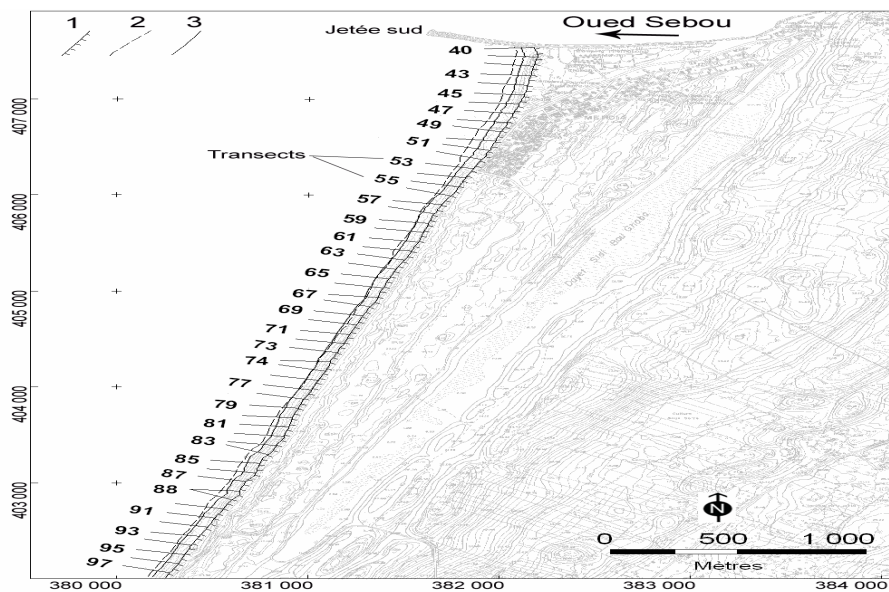


Figure 6 : Evolution du trait de côte du secteur sud entre 1963 et 1993.

1 : Ligne de base ; 2 : Trait de côte de 1963 ; 3 : Trait de côte de 1993

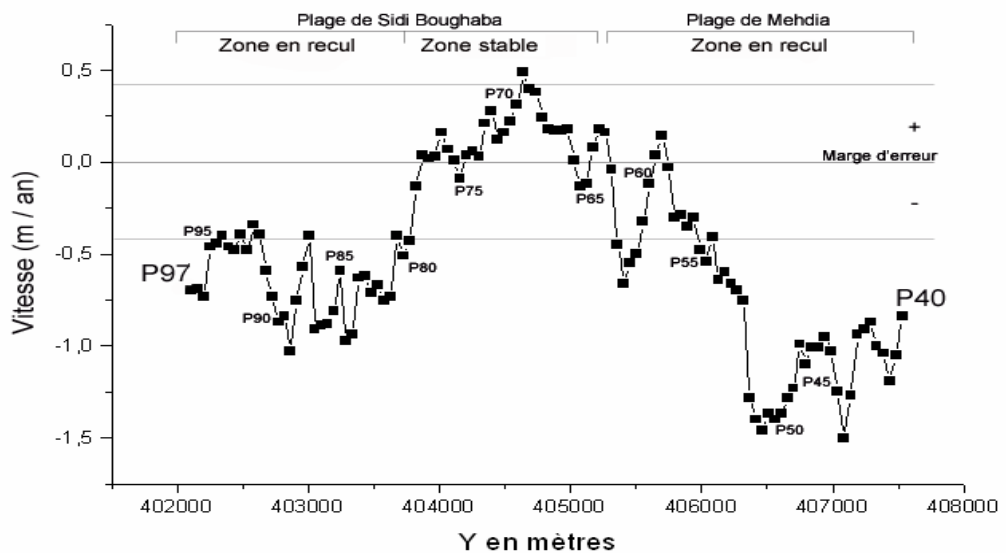


Figure 7 : Variation longitudinale de la vitesse du déplacement de ligne de rivage dans le secteur sud

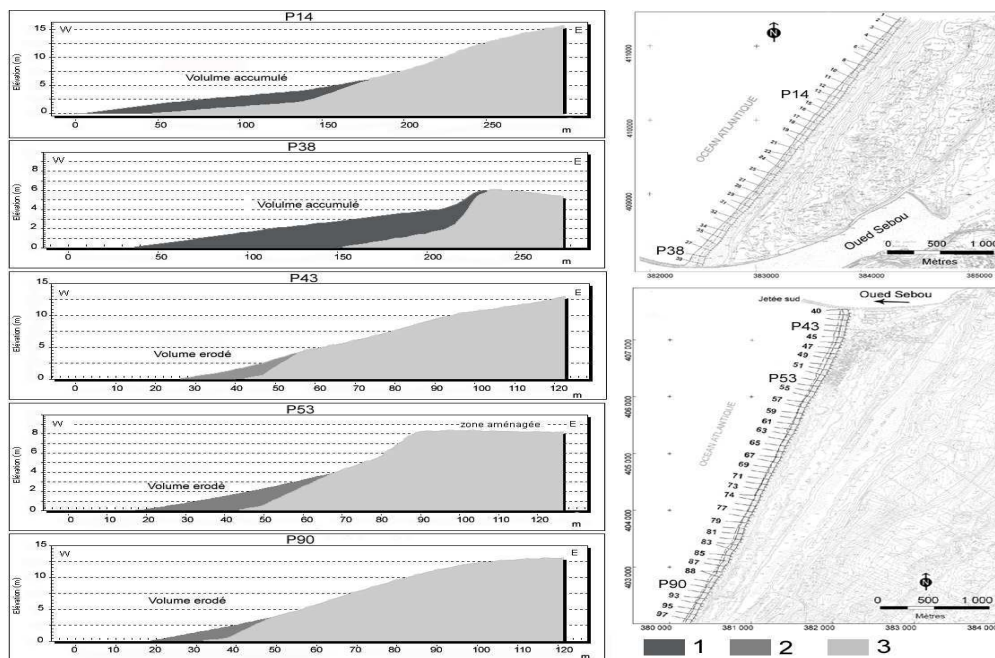


Figure 8 : *Superposition des profils numériques Est-ouest des plages de 1963 et 1993.*

1: sédiments accumulés ; 2 : sédiments érodés ; 3 : état initial de la plage.

5. Discussion

Les plages du littoral de Kénitra se caractérisent par un mouvement des sédiments selon les deux directions longitudinale et transversale. La dynamique transversale au niveau de l'avant côte produit soit une déperdition du matériel vers le large soit une alimentation de la plage. Il est difficile de dire quelle est la direction dominante puisque nous n'avons pas suffisamment d'informations sur la partie sous marine.

L'importante progradation au niveau de la plage de Chlehat peut être expliquée d'une part par sa proximité des apports, même modestes de l'Oued Sebou, en matériaux terrigènes et d'autre part par la dérive littorale a priori orientée du nord au sud où la jetée nord de l'embouchure piège en partie les sédiments provenant du nord. En outre et de point de vue sédimentaire la présence de grains ronds mats dans ce secteur non aménagé montre bien l'action du vent engendrant ainsi des mouvements plutôt transversaux favorisant l'alimentation de l'estran en matériaux provenant de la dune bordière.

Toutefois, Cette plage du secteur nord, caractérisée par une accrétion générale, souffre d'une exploitation massive de sable : une trentaine de carrières de sable dunaire, totalisant l'extraction d'un volume annuel d'environ 4 Mm³ [18]. Cette activité constitue une destruction irréversible des dunes de ce secteur. Certaines carrières de Chlehat (**Figure 9A**) ont été exploitées jusqu'à des profondeurs qui ont atteint le niveau de la mer, contribuant ainsi à l'avancée du biseau salé. La faible progradation enregistrée à l'extrémité nord de la plage Chlehat est une manifestation tangible du déséquilibre causée par cette activité. Au cours des prochaines années dans ce même secteur, le déficit sédimentaire d'origine continentale et de l'extraction de sables produirait alors une diminution des taux d'engraissement.

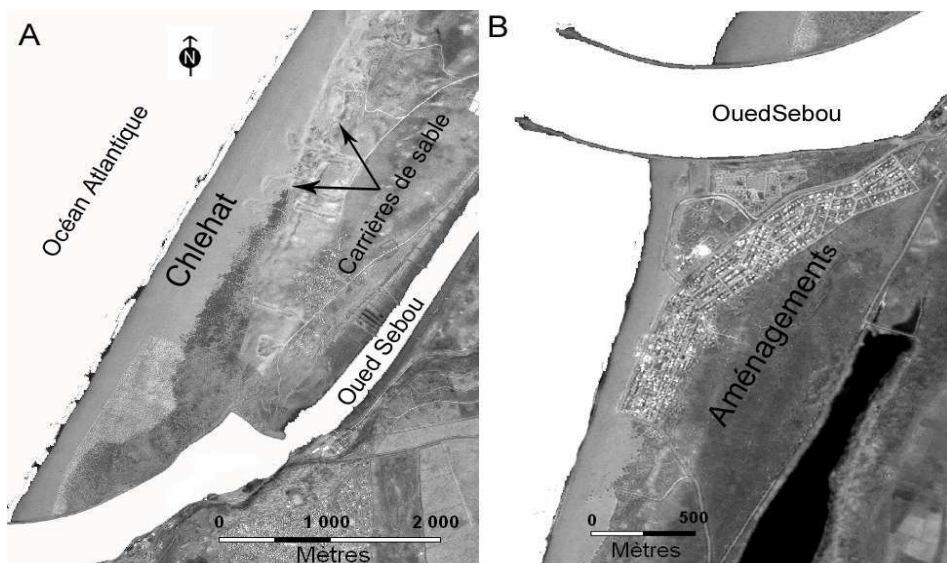


Figure 9 : Activités anthropiques menaçant le fragile équilibre du littoral de kénitra.

A : zones d'extraction de sables conduisant la destruction de la barrière naturelle ; B : constructions touristiques au détriment de la dune bordière

Dans le secteur sud, la diminution de l'approvisionnement en sédiments d'origine continentale et les aménagements implantés au détriment de la dune bordière (**Figure 9B**) conjugué à l'effet de retenue de la jetée nord bloque le transit sédimentaire. Cela correspond au taux d'érosion estimé par notre méthode. En outre, cette plage représente la zone protégée par la jetée sud de l'embouchure ce qui favorise son érosion progressif.

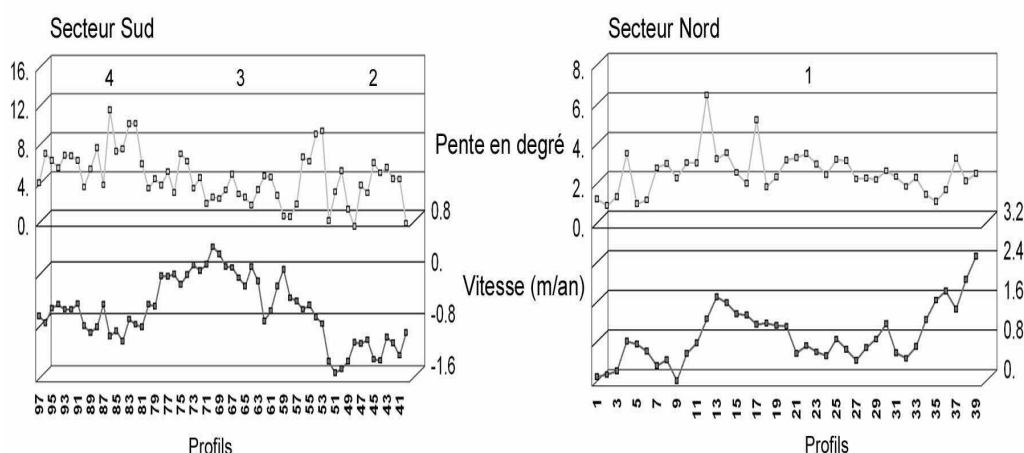


Fig. 10 : Mise en relation entre la pente moyenne des plages et la vitesse d'évolution du trait de côte.

1 : plage de Chlehat ; 2 : plage de Mehdià ; 3 : Plage stable au sud de Mehdià ; 4 : plage de Sidi Boughaba

En plus de ces phénomènes, il convient de considérer que l'érosion est également liée aux valeurs moyennes de pentes des plages (**Figure 10**). En effet il y a une forte corrélation entre les pentes, relativement élevées, des deux plages Mehdià et S.Boughaba et leurs état érosif dans le secteur Sud alors que la zone entre ces deux plages, présente des pentes moyennes à faibles favorisant une stabilité relative. Du côté nord de l'embouchure, la plage de Chlehat présente un estran large avec des pentes moyennes à faibles favorisant ainsi l'accumulation du sable. La faible variation longitudinale des pentes n'influence pas trop sur la vitesse d'accrétion dans ce secteur Nord car se sont surtout les autres facteurs cités ci-dessus qui ont été responsables des différents états d'accumulation de la plage de Chlehat.

L'activité humaine à intérêt économique affecte en permanence le fragile équilibre de cette zone. La région a connue de proche en proche une diminution de l'approvisionnement en sédiments d'origine continentale suite aux effets de la sécheresse et à l'emplacement des barrages dans le bassin versant. Les taux d'envasement des barrages ainsi que nos estimations du volume de sédiments mobilisés sont des informations qui vont nous permettre de poursuivre nos travaux et d'aboutir à un bilan sédimentaire.

6. Conclusion

Les photographies aériennes de 1996 et 1993, le MNT de précision décimétriques et les outils de reconnaissance du trait de côte sont des outils pertinents pour bien comprendre la dynamique sédimentaire de trois plages du littoral de Kénitra réparties de part et d'autre de l'embouchure de l'Oued Sebou. Au cours de cette période, une évolution différente de part et d'autre de l'embouchure de l'Oued Sebou a été observée. La plage de Chlehat au nord de l'embouchure du Sebou a bénéficié d'une accrétion générale alors que le secteur sud, avec ses deux plages Mehdiya et Sidi Boughaba, a lui connu une érosion. Deux principaux facteurs sont responsables de ce phénomène : la dérive littorale résultante vers le sud et la construction des jetées dès les années trantes. L'accrétion de la plage de Chlehat est favorisée par la plus faible énergie que dans le secteur sud et par les échanges transversaux de sédimentaires entre le bas et le haut de plage.

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure, les plages perdent leur équilibre par les extractions massives de sables et le déficit sédimentaire dues aux contraintes climatique et anthropiques dans le bassin versant. A l'inverse la dune bordière arasée, au sud de l'embouchure est à l'origine, en partie, de l'érosion de la plage de Mehdiya et celle de Sidi Boughaba. L'érosion inquiétante à Mehdiya est accentuée par les jetées qui la privent naturellement des sédiments qui lui parvenaient du Nord. Par ailleurs, nous avons constaté que les aménagements urbains et l'extraction de sables peuvent infléchir localement les valeurs de l'érosion des plages. Ceci montre également le caractère sensible du fragile équilibre sédimentaire de cette région.

Références

- [1] - S. HAIDA, "Transport de matière et bilan de l'érosion mécanique et de l'altération chimique dans un bassin versant de zone semi-aride : le Sebou. Impacts des variations climatiques et des activités humaines", Thèse d'état, Univ. Ibn Tofail, Kénitra, Maroc (2000)
- [2] - P. Erimesco, "La mer et l'atmosphère des côtes marocaines", *Bulletin Institut de Pêches Maritimes*, Maroc, (3) (1965) 3-20
- [3] - L. CHARROUF, "Problème d'ensablement des ports marocains sur la façade atlantique : leurs impacts sédimentologiques sur le littoral", Thèse d'Etat, Orsay, France (1989)
- [4] - J. LE COZ, "Le Rharb, Fellah et colons", *Inframir*, Rabat, 2 t (1964)
- [5] - P.C. BEAUBRUN, "La lagune de Moulay Bousselham. Etude hydrologique et sédimentologique", *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, (1) (1976) 5-37

- [6] - M. ALAOUI et H. ALKHACHANI, "Sites pour excursions géologiques dans le Gharb", Mémoire de fin d'études, Univ. Ibn Tofail, Kénitra, Maroc (1989)
- [7] - M. ZAIDA, "Le littoral de la région de Kénitra", Mémoire de fin d'études. Univ. Ibn Tofail, Maroc (1992)
- [8] - Y. BENGUEDDOUR, "Evolution récente de la frange littorale de la région de kénitra", Mémoire de l'Université Nancy 2, France (1996)
- [9] - A. BENMOHAMMADI et M. ELHANBALI, "Utilisation des croûtes calcaires pour diminuer l'érodabilité éolienne des sols dunaires dans le sud-est marocain : Etudes de géographie physique", URA 903 du CNRS, XXVI, (1998) 53-58
- [10] - M. ALLOUZA, "Evolution morphologique et sédimentologique de la frange littorale de la région de Kénitra : Bilan sédimentaire", Mémoire de DESA, Univ. Ibn Tofail, Kénitra, Maroc (2002)
- [11] - E. R. THIELER, E. A. HIMMELSTOSS, J. L. ZICHICH and T. L. MILLER, "Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change", *U.S. Geological Survey Open-File Report* (2005) 2005-1304.
- [12] - P. DURAND, "Cinématique d'un littoral sableux à partir de photographies aériennes et de cartes topographiques. Exemple du littoral de d'Argelès-Plage à Saint-Cyprien (Roussillon, France)", *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, (2) (1998) 155-166
- [13] - R. DOLAN, B. P. HAYDEN, P. MAY and S. MAY, "The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs", *Shore and Beach* 48 (4) (1980) 22-29
- [14] - R. DOLAN, M. S. FENSTER and S. J. HOLME, "Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion", *Journal of coastal research*, 7 (3) (1990) 723-744
- [15] - M. CROWELL, S. P. LEATBERMAN and M. K. BUCKLEY, "Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy", *Journal of Coastal Research*, 7 (3), (1991) 839-852
- [16] - R. THIELER and W. W. DANFORTH, "Historical shoreline mapping: improving techniques and reducing positioning errors", *Journal of Coastal Research*, 10, (3) (1994) 549-563
- [17] - V. CAZES-DUVAT, R. PASKOFF et P. DURAND, "Evolution récente des deux îles coralliennes du banc des Seychelles (océan Indien occidental) : Denis et Bird", *Géomorphologie relief, processus, environnement*, (3) (2002) 211-222
- [18] - ANONYME, "Projet intégré de développement durable du Bassin du Sebou. Rapport final de projet", Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, Maroc, (2004) 65 p.